

第43回 空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会  
2026年4月22日（早稲田大学国際会議場） B-15

# 小型飛沫除去装置による 飛沫除去性能最適化のための 自然放射線源利用の検討

○秋吉 優史<sup>1) 2)</sup>

1) 大阪公大 工学研究科、

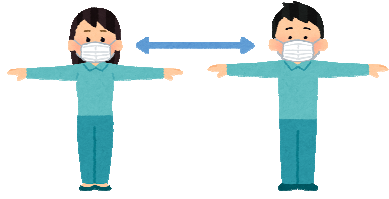
2) 大阪公大 大阪国際感染症研究センター

E-Mail: [akiyoshi-masafumi@omu.ac.jp](mailto:akiyoshi-masafumi@omu.ac.jp)

<https://www.omu.ac.jp/eng/akiyoshi/>



ソーシャルディスタンス



# 感染拡大の原因と三密とは？

## エアロゾル



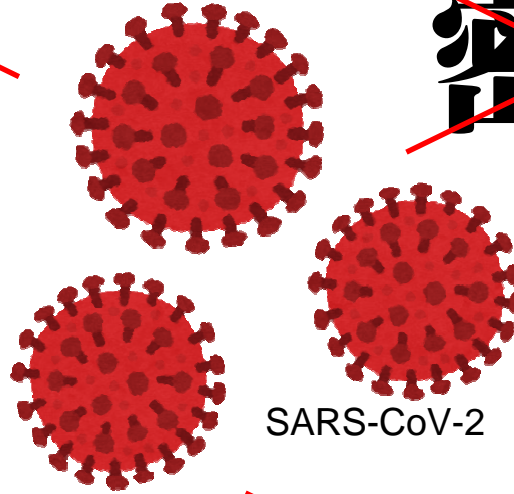
# ~~密集~~



# ~~密閉~~



## 飛沫



SARS-CoV-2

5 $\mu$ m以下の微粒子で、数分間  
空気中に滞留し、広い範囲に拡  
散しうる。喋るだけでも飛散する。

一般的なマスクを付けていても  
50%程度が飛散する。

口腔から放出される5 $\mu$ m以上の液滴。  
感染者から2m程度の範囲で飛散。  
マスクを付けていても20%程度が放出  
される。

# ~~密接~~



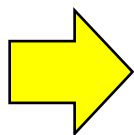
## 表面への接触

どこに潜んでいるか分からない  
トラップ。

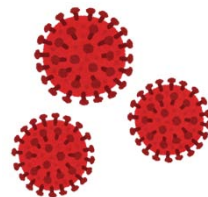
材質によっては数日間感染力を  
持ったまま付着している可能性  
がある。

## COVID-19 への工学的対抗策の検討(3)

~~密集~~



飛沫



うちで過ごそう

ソーシャルディスタンス



飛沫は2m程度しか飛ばないため、他人との距離を取ることで飛んでくる飛沫から身を守れる

大きな液滴に大量のウイルス

口腔から放出される $5\mu\text{m}$ 以上の液滴を飛沫と呼び、 $120\text{-}150\mu\text{m}$ 程度に分布のピークを持つ。数秒の間に2m程度までの範囲に飛び散る。咳やくしゃみだけで無く、普通にしゃべっているだけでも飛散する。

直接粘膜に飛び込む



飛沫感染

乾燥して飛沫核になる



空気感染

落下して付着する



接触感染

### 小型飛沫除去装置

フィルターと光触媒の組み合わせで飛沫をキャッチしてウイルスを酸化分解。

対面する人と人との間、飛沫の飛ぶ距離の範囲に設置されていないと意味が無いため、たくさんの台数が必要。

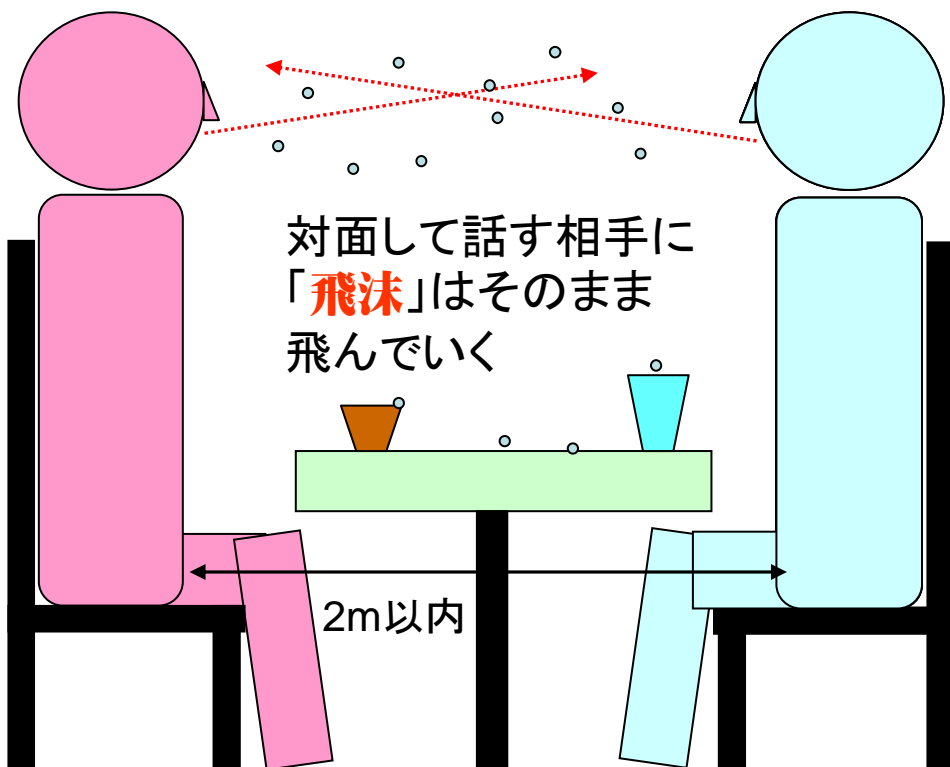
飛沫の放出を防ぐためにはマスクが有効で、一般的なマスクでも8割程度の飛沫を止めることが出来るが、残りの2割程度は隙間などから飛散する。このため、飛程よりも近くに座ってのミーティングや窓口などでの会話で感染リスクがある。また、食事中にマスクは困難で会食時のリスクが高い。



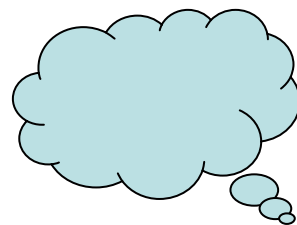
マスクしよう

「感染を広げない」  
目的で全員が着用

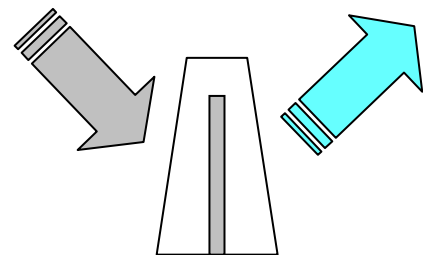
へやのかたすみ  
飛沫の飛程より遠くに空気清浄機を設置しても  
**飛沫除去**には何の意味も無い!



直接相手の呼吸器に入らなかった飛沫も、乾燥して飛沫核になるとエアロゾルとして滞留し、また落下したのも乾燥して接触感染の原因となる。

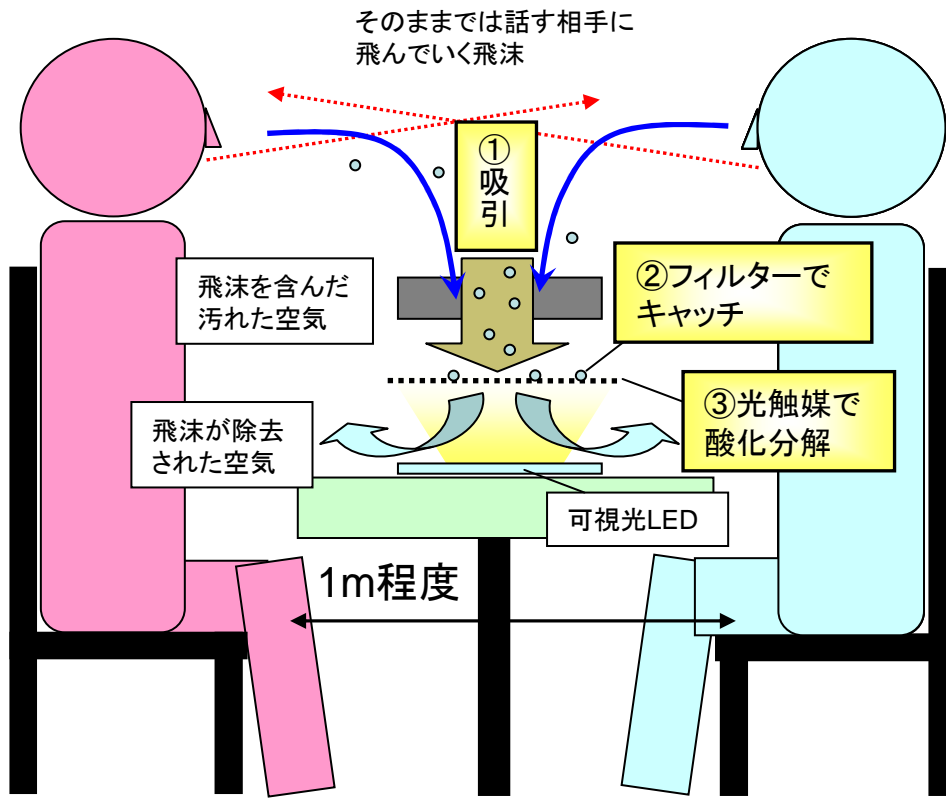


長時間空气中に滞留して拡散する**エアロゾル**は徐々に吸引されて浄化される



従来からある  
空気清浄機

大型で騒音も大きく  
人と人の中には設置できない



## ① 吸引

発生源と対象者の間にひかりクリーナーを設置した場合、口の高さ程度を飛ぶ $5\mu\text{m}$ 以上の飛沫を1/100程度にまで吸引除去

## ② フィルターでキャッチ

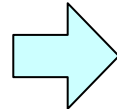
吸引した $5\mu\text{m}$ 以上の飛沫については、ほぼ完全にフィルターでキャッチ

## ③ 光触媒で酸化分解

紫外線を放出せず安全な高輝度可視光LEDと、可視光応答光触媒を使用した無機材質ベースの高性能フィルターにより、高い酸化分解力を実現。フィルターではキャッチできないエアロゾル中のウイルスについても不活化できることを確認。

サブミクロンのエアロゾルをキャッチしようとするHEPAフィルターなどの高性能フィルターが必要で、十分な吸引を行うためには高出力のファンが必要となり、騒音のため人のそばには置けない。

サブミクロンのエアロゾルはキャッチしないという割り切り



飛沫除去に特化した小型飛沫除去装置というコンセプトを実現

# 可視光応答光触媒を用いた超低価格な 小型空気清浄機「ひかりクリーナー」



和紙による漏れ光の遮光

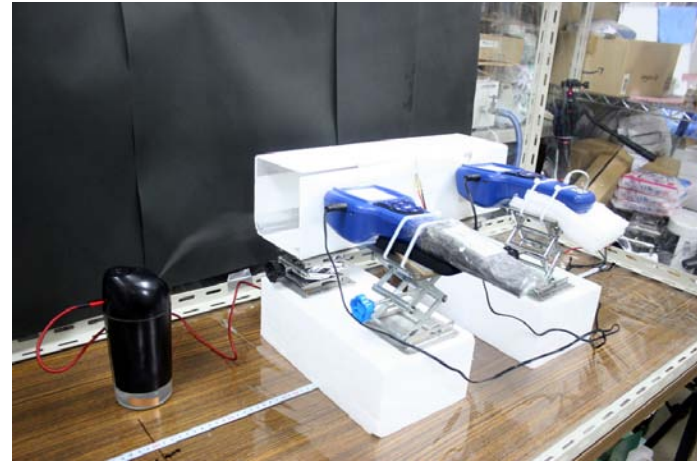


12cm角、高さ5cm、ファンの騒音19dB、消費電力5W以下で、モバイルバッテリーでの駆動も可能

可視光応答の光触媒を使用しているため、漏れ光を完全に遮蔽する必要が無く、簡易な構造での動作が可能。当初開発した標準型はPC用のパーツなどを組み合わせて、極めて安価で製作が可能。価格が安価であれば、その分多数台でのネットワーク構築が可能となる。中学生程度でも工作可能で、半田付けなどの危険な作業も不要。光触媒フィルターは、不織布と市販されている東芝「ルネキャット」スプレーにより製造が可能で、より強力なファンを使用すれば性能向上も可能。

これまでに700台程度を市民に提供し、実際に使用してもらっている。

# フィルターメッシュ径の違いによるフィルター透過率の変化

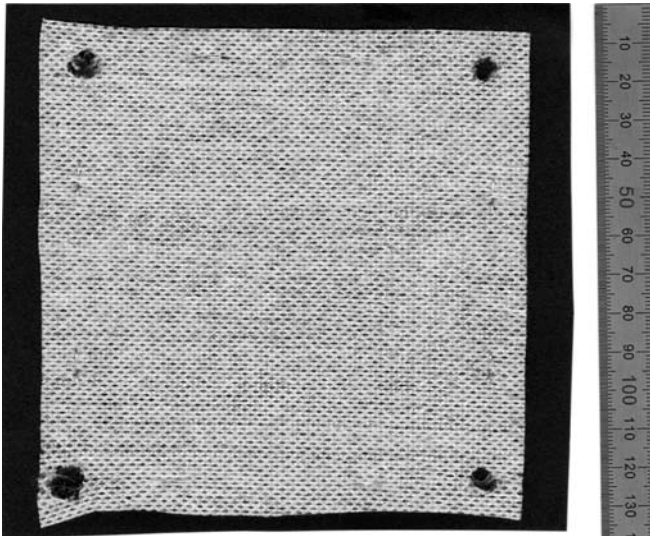


フィルターを装着した12cm角 1200rpm のファンをスチレンボードで製作したダクト中に設置し、上流側と下流側で噴霧機により導入された液滴濃度を測定した。上流側と下流側の液滴濃度の比から、透過率を評価した。

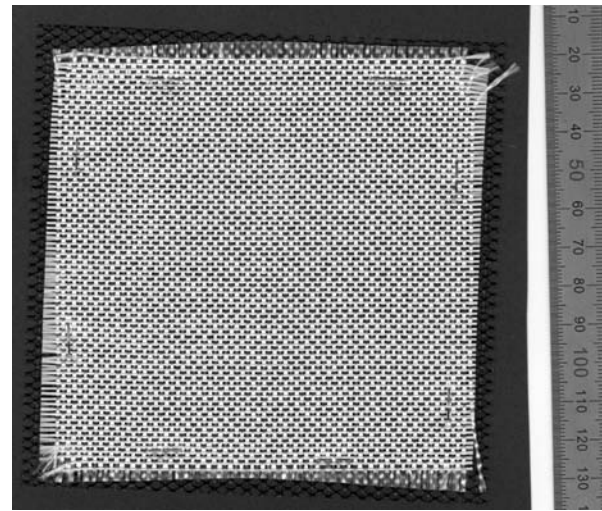
液滴径は5-25  $\mu\text{m}$  および1-5  $\mu\text{m}$  の分粒に対して評価した(0.3-1  $\mu\text{m}$  のサブミクロンの分粒も評価したがフィルターで全くキャッチされなかった)。

フィルターは、モノタロウ不織布ワイパー、グラスファイバーメッシュ #18/19、#14、#10.5 および #10.5 のメッシュを二枚重ねにした物で、いずれもダイソーのすべり止めシートを担持材として使用し、ステンレスステープラーで8カ所止めることで保持している。

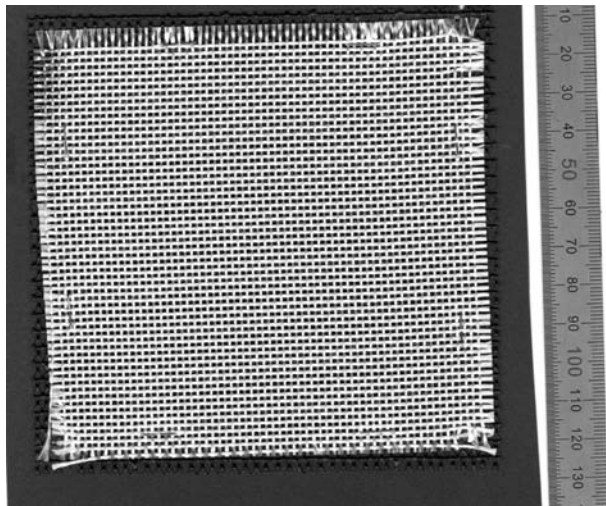
# フィルターメッシュ径の違いによるフィルター透過率の変化



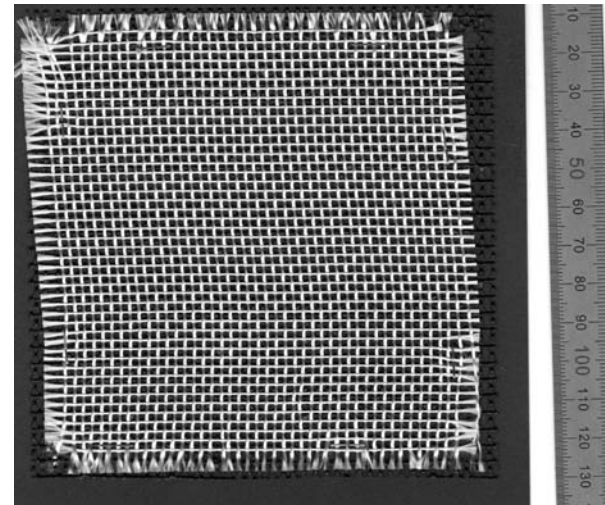
モノタロウ不織布ワイパー



グラスファイバーメッシュ #18/19

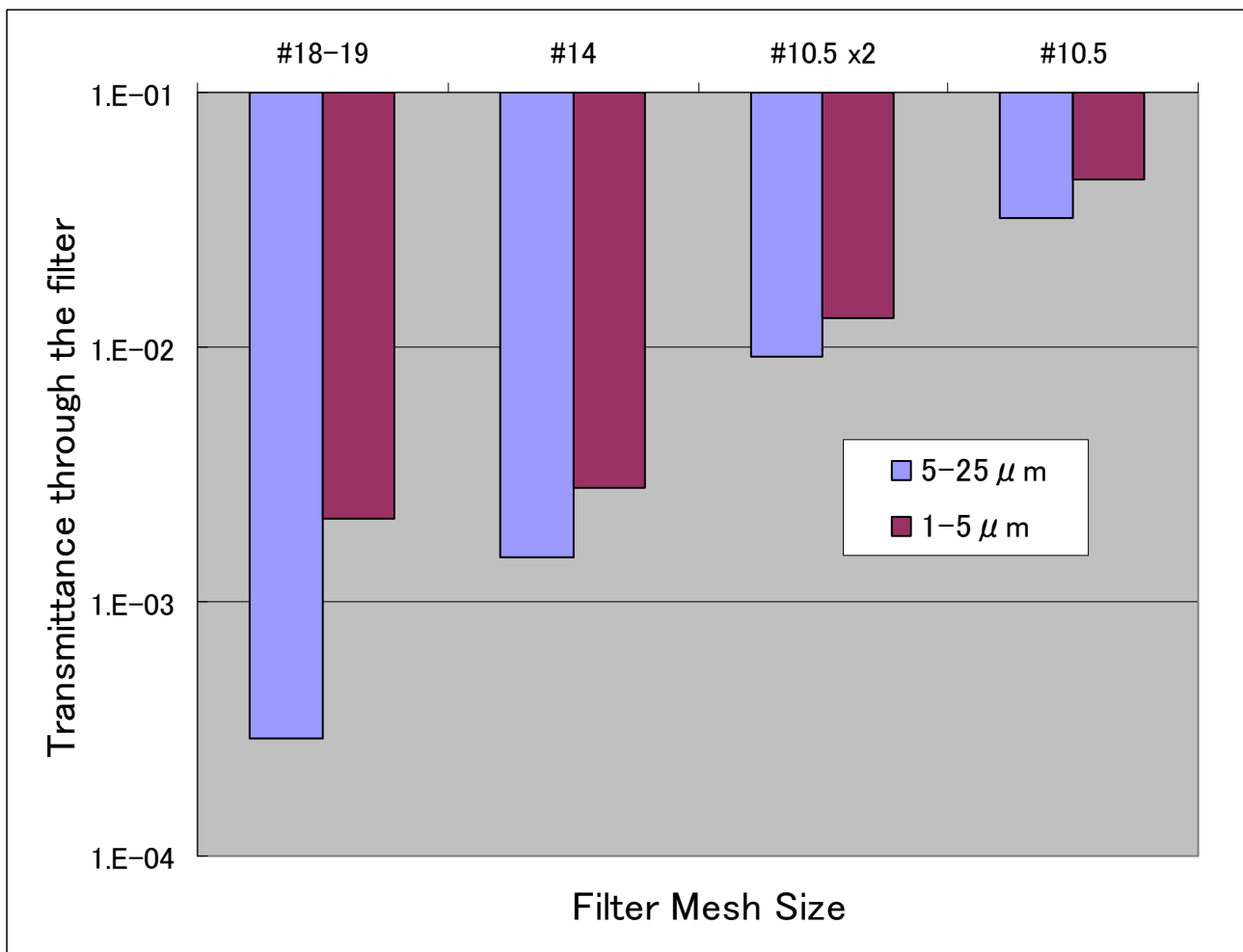


#14

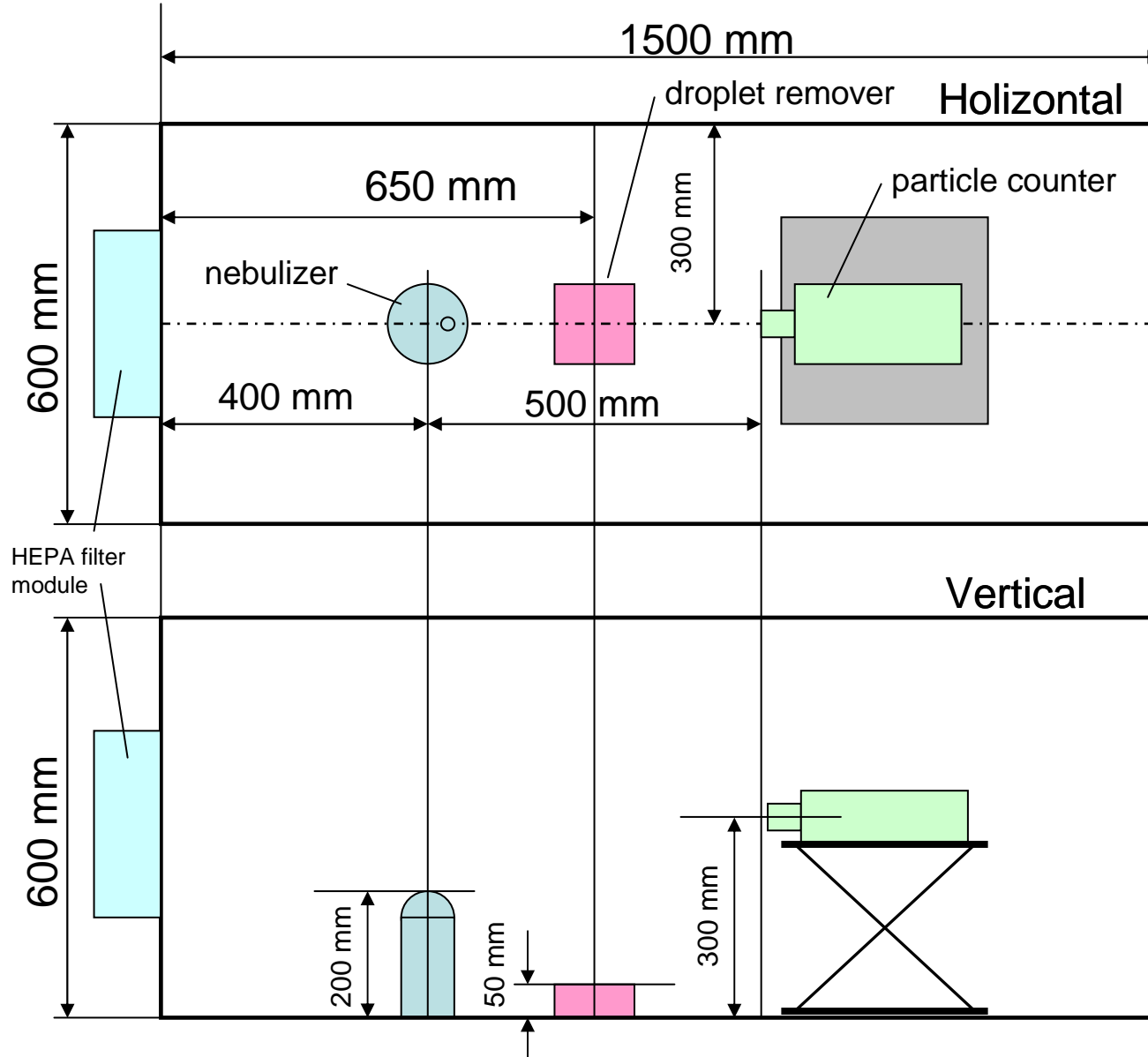


#10.5

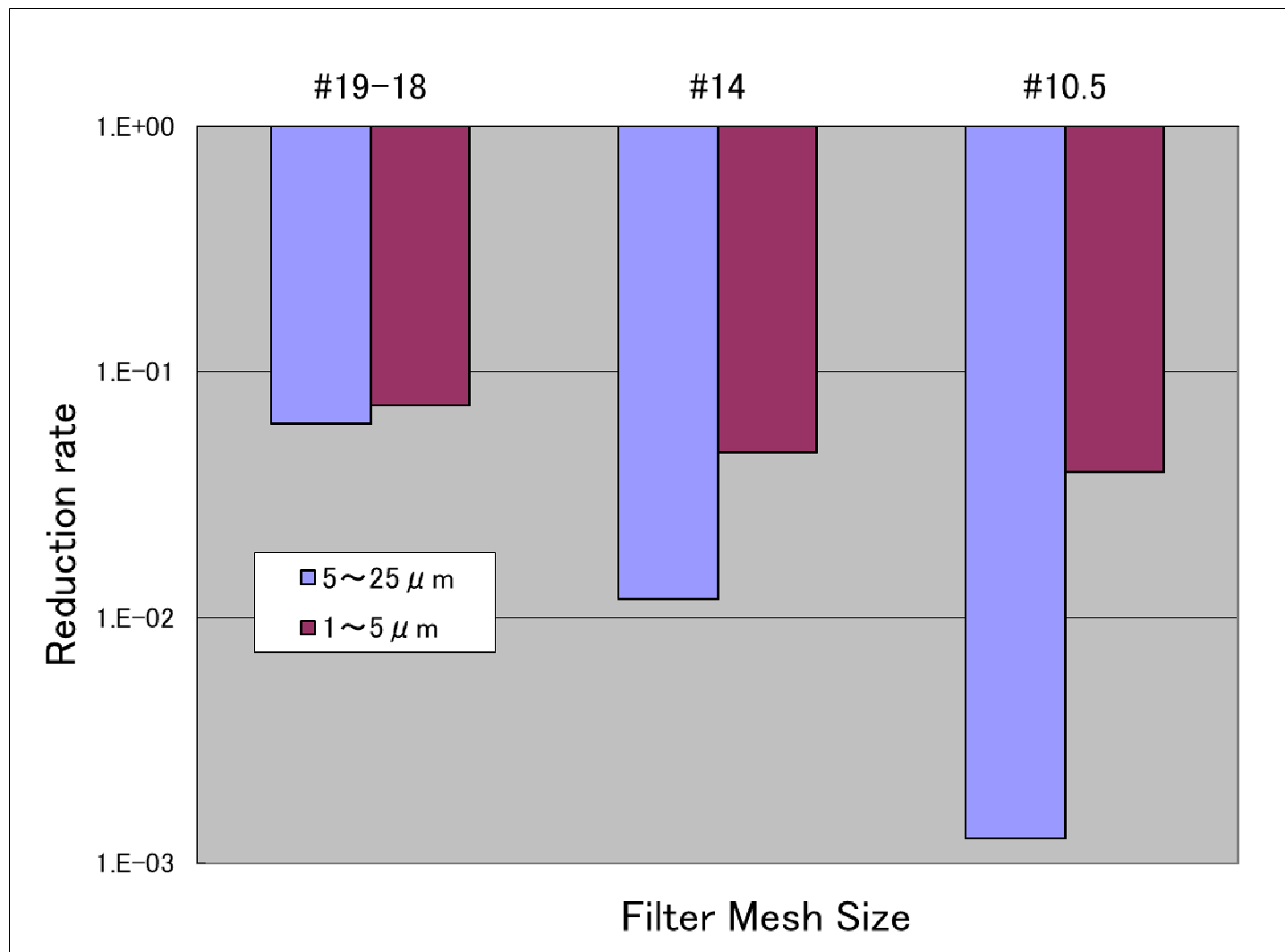
# フィルターメッシュ径の違いによるフィルター透過率の変化



# フィルターメッシュ径の違いによる飛沫除去性能の変化

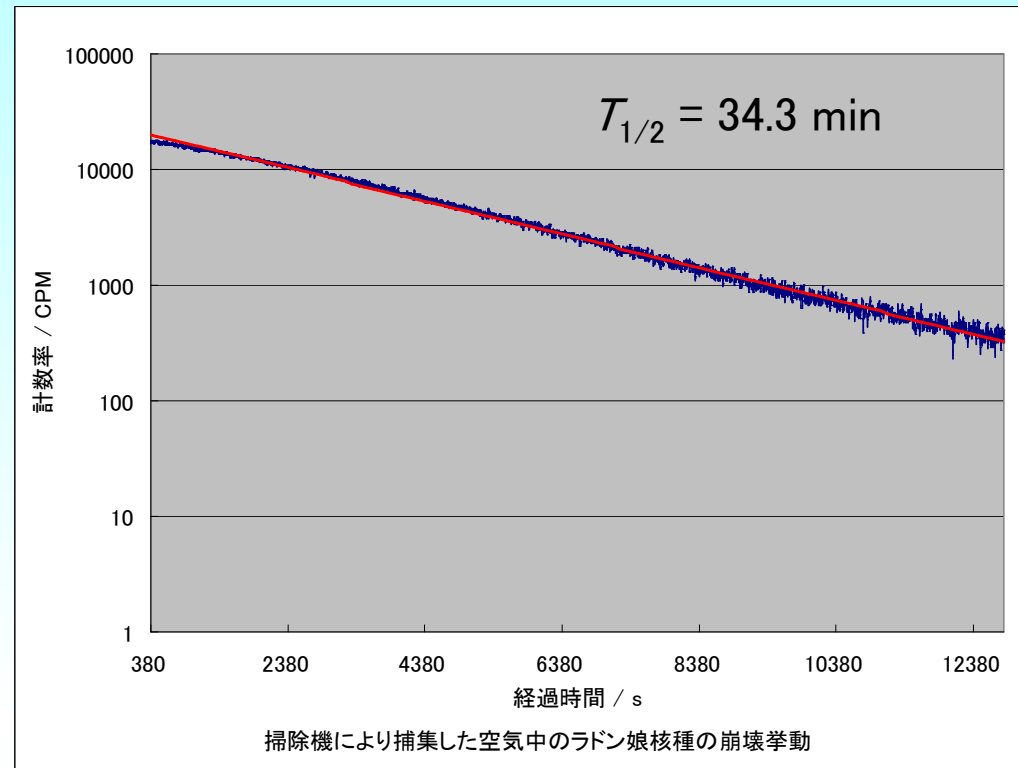


# フィルターメッシュ径の違いによる飛沫除去性能の変化



これまでの水滴を用いた実験では、実際にどの程度のウイルスなどの病原体がフィルターに捕集されて系から排除されたのかは定量的評価が出来ていない（反射風や再放出、透過などが関連する）。

$^{90}\text{Y}$ （半減期 64h, Sr-90 からのミルクキングにより生成する）などの短半減期 RI を噴霧して定量的に評価を行うことが望ましいが非密封 RI の噴霧は放射線安全管理上のハードルが高いため、トリウムを含有するマントルピースなどの**自然起源放射性物質 (NORM)** から放出される  $^{220}\text{Rn}$  からの  $^{212}\text{Pb}$ （半減期 10.6 h） /  $^{212}\text{Bi}$ （半減期 1.01 h）を活用する方法が考えられる。試験的に 50 枚のマントルピースを使用して不織布フィルターでの捕集を試みたが余り放射能濃度が上がらなかったため、より効果的な補修方法の検討を行った。



ベンコットは以前から空気中の Rn-222 娘核種の捕集に用いており、高い捕集効率が知られていた。捕集場所の条件が良ければ、家庭用の掃除機の吸い口にベンコット(4つ折りのまま)を輪ゴムで縛り10分程度の吸引で、数万 CPM (インスペクターでの測定)を示す試料を作成可能。(半減期40分弱であるため、余り長時間吸引しても飽和してしまい意味は無い)

京都大学原子核工学専攻在籍時に学生実験でRI管理区域管理用の目の細かいろ紙を用いたエアサンプラーを使用して同様の捕集実験を行っていたが、爆音を立てて1時間程度捕集しても、60 Bq 程度しか捕集できなかったのと対照的である。

トータルの補修料は、捕集効率×流量となるため、余りにも目の細かいフィルターでは流量が小さくなり効率が低くなる。また、空気中の Rn-222 娘核種は空気中の粗大な埃に静電気により吸着しているため、余り細かなフィルターで無くても十分に捕集が可能。



45L 密閉コンテナ中にトリウム含有マントルピースと、吸引用ファンユニット(12cm 角 1200rpm)を設置した状態。(図中のファンユニットはフィルターを下面に取り付けている。)ファンユニット下面には直接トリウム粉塵を巻き上げてしまわないように14cm角のステンボードを下に敷いている。



左上: ファンの下面で捕集を行う際にフィルターを保持するために使用したすべり止めメッシュ各辺2カ所ずつステープラーでフィルターを固定している。

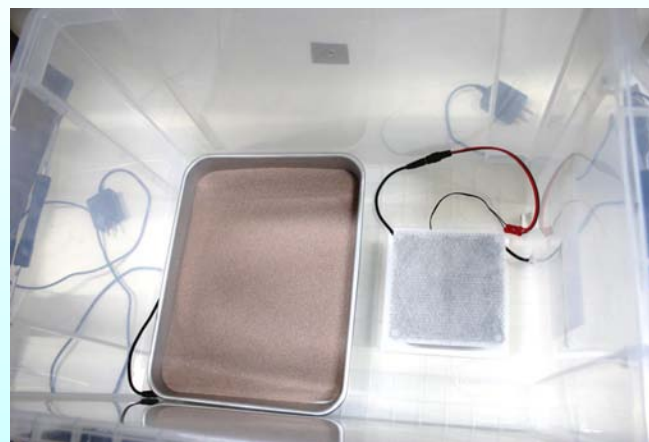
右上: ファン下面にフィルターを装着した様子

左下: ファン上面にフィルターを設置して捕集を行う際にΦ2パンチングメッシュをファン上面に装着した様子。

右下: パンチングメッシュ上面にフィルターを載せて捕集を行う状態。ファンは上面側から下面側へ風を送る状態になっている。



45L 密閉コンテナ中で Rn-220 娘核種を捕集している様子。タイマーユニットにより一定時間の捕集を行っている。捕集後直ちに Inspector USB GMサーベイメーターによりフィルターを四つ折りにした状態で、スケーラーモードによる3分間の測定を3回行った(各回で測定面を変えている)。測定時はバックスキャタリングの影響を避けるために2cm厚の発泡スチロール板の上で実施している。一枚のフィルターの吸引が終了後、直ちに次のフィルターをファンユニットに取り付けて捕集を実施して、1条件で3枚のフィルターの測定を行った。



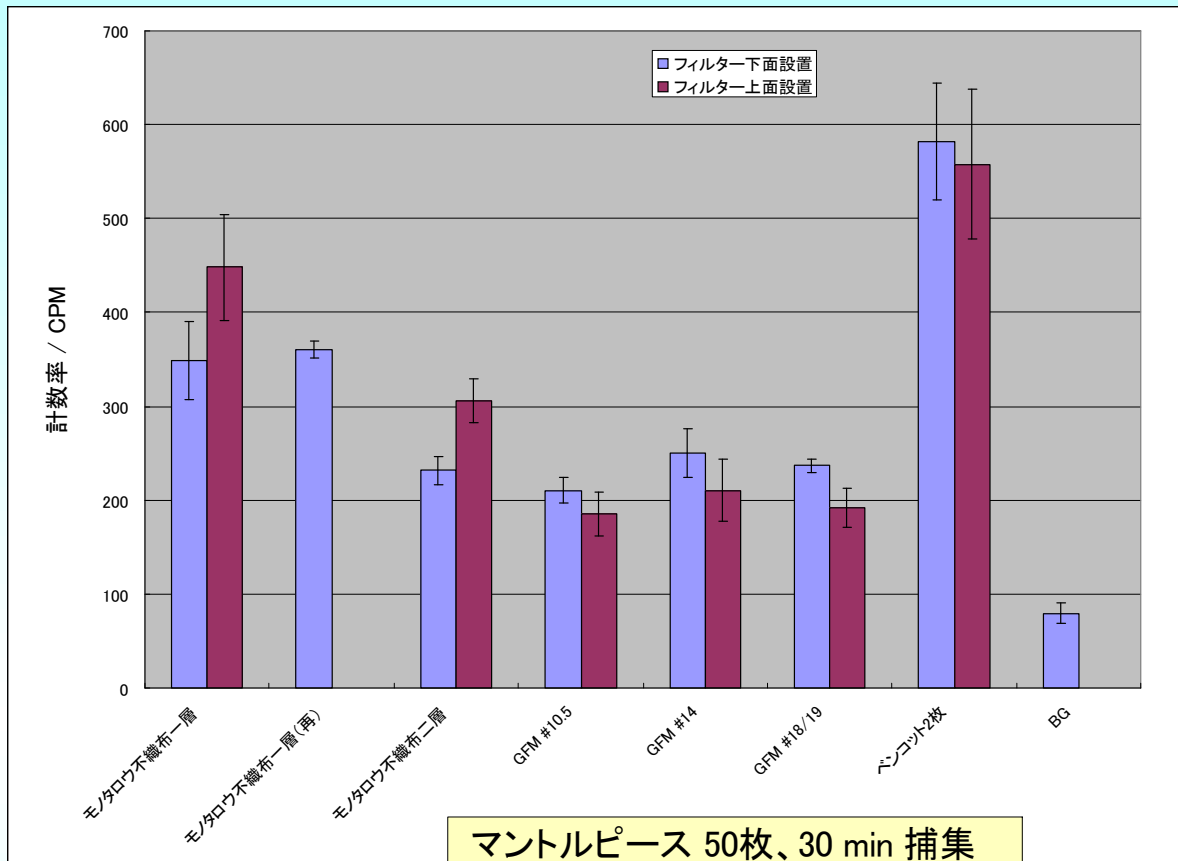
比較的多くのトリウムを含む、ジルコンサンド 3kg を用いて Rn-220 娘核種の捕集を試みている様子。設置後一週間程度経ってから捕集実験を実施しているが、30分間 ベンコット2枚での捕集を試みたが BG レベル(実際には BG 以下の計数值)であった。



使用したランタンマントルピースとInspector USB GM サーベイメーター。

マントルピースは2枚重ね合わせた状態でベタ付けで約10,000 CPM(アロカ TGS-113)、0.3  $\mu$  Sv/h(アロカ TC S-172)。国内でスポーツ用品店などで販売されているマントルピースはほとんどの物がトリウム以外の希土類を用いた物に置き換えられているが、独自ルートでトリウム含有の製品の調達を行っている。

Inspector USB はΦ45mmのパンケーキ型GM管を用いたサーベイメーターで、USBでPCと接続してのリアルタイムで連続的に計数率を記録、表示可能で、単体でもスケーラーモードでの測定が可能。現在はRangerというシートボタンを用いた製品に換わっている。以前は8万円程度で入手できたが、円安などのため現在は15万円程度する。



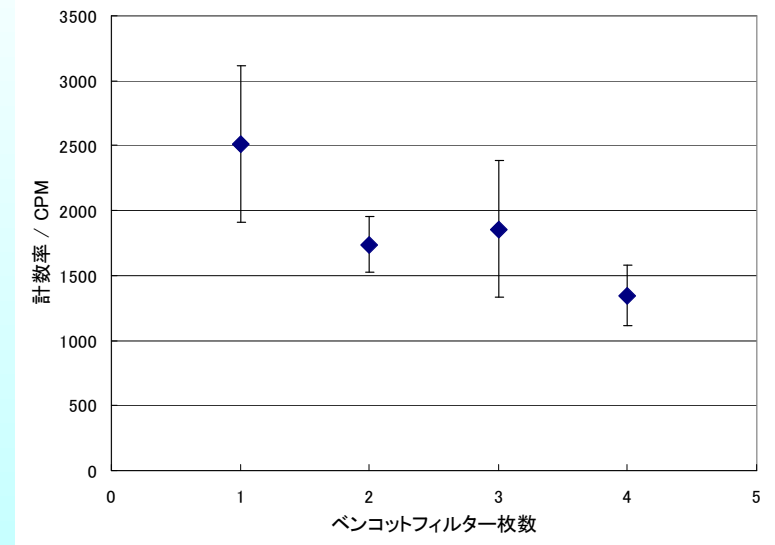
マントルピース 50枚、30 min 捕集

30分間の吸引を繰り返すことによりチャンバー内の Rn-220 娘核種が枯渇してしまうことが懸念されたが、3回 30分の吸引を繰り返しても減少する傾向は見られず、モノタロウ不織布 1層での測定を最初に実施した後に不織布2層、GFM 3種類の測定、計15回の捕集を行った後に再度モノタロウ不織布1層で捕集を行ったが、最初に捕集を行った際とほぼ同一の値が得られている。Rn-220 自体は 半減期 55.6 s, その娘の Po-216 は半減期 0.145 s で、さらにその娘の Pb-212 で半減期 10.64 h となり、これが捕集されることでチャンバー内の放射能濃度が下がっても、Rn-220 は親の Ra-224 の半減期が 3.66 d であるため放射平衡となっており、チャンバー内の放射能濃度はほぼ一定に保たれていると考えられる。

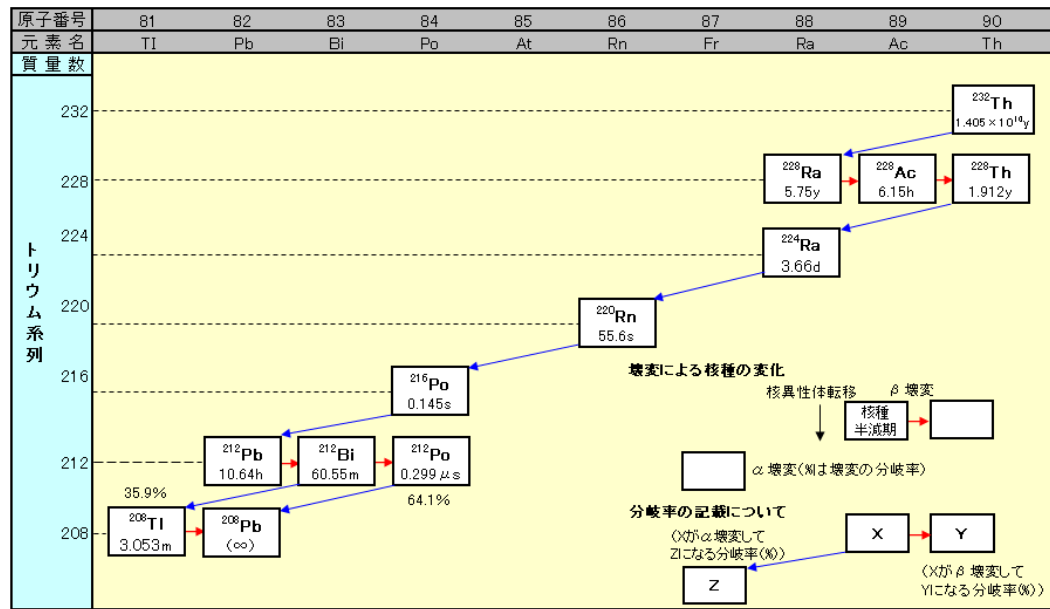
フィルターの違いおよびファンの上面側/下面側にフィルターを設置した際の、捕集された Rn-220 娘核種からの放射線量の違い。モノタロウ 不織布は 0.5×2 mm 程度の大きな開口部を持っているが、二枚重ねることによりほぼ塞がれるため、圧損がかなり大きく捕集効率が下がっている。GFM(グラスファイバーメッシュ)は飛沫の捕集効率は十分であるが、空気中の埃のような担体が無く微細なエアロゾルとして浮遊している Rn-220 娘核種を捕集するには目が粗すぎて不十分であったと考えられる。

ベンコットは以前から「みんなのくらしと放射線展」での工作教室で霧箱用の線源捕集のために使用しており、高い捕集効率を示すことが経験的に分かっていたが、改めて他のフィルターと比べて高い捕集効率を示すことが明らかとなった。静電的な効果が影響している可能性もある。ベンコットについては枚数による違いも検証を行い、1枚のみの場合が最適という結果を得た。

ファンの上面/下面へのフィルター設置は、吸引 (Pull)/吹きつけ (Push) の違いに相当するが、誤差の範囲でほぼ同等となった。小型飛沫除去装置として使用する場合には LED 光を当てる関係で下面設置が望ましく、Rn-220 娘核種捕集という観点ではより簡便にフィルター交換が可能な上面設置が望ましく、どちらの用途でも適した設置方法を選択すれば良いことになる。



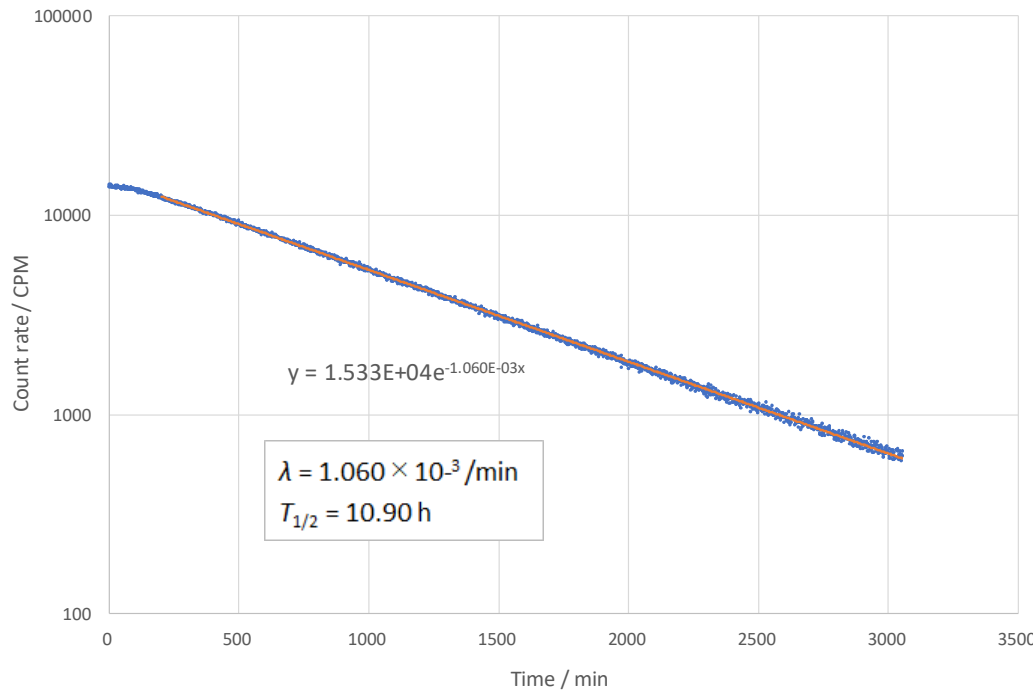
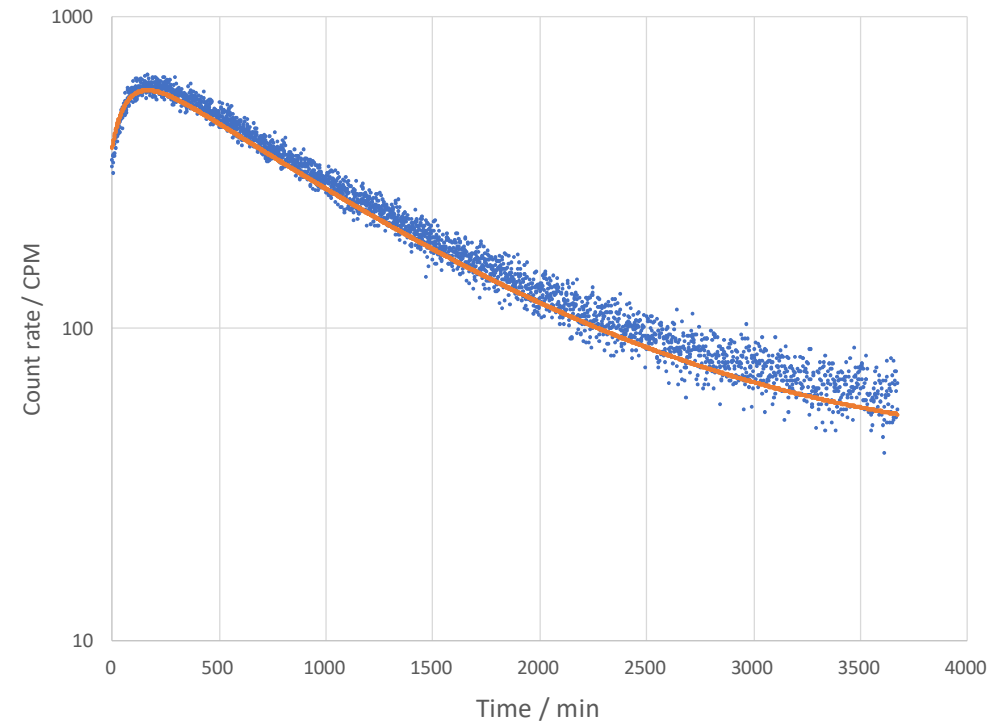
マントルピース 250枚、30 min 捕集



半減期の記号:s(秒), ms(10<sup>-3</sup>秒), μs(10<sup>-6</sup>秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

図1-3 天然放射性核種の壊変系列図(トリウム系列)(3/4)

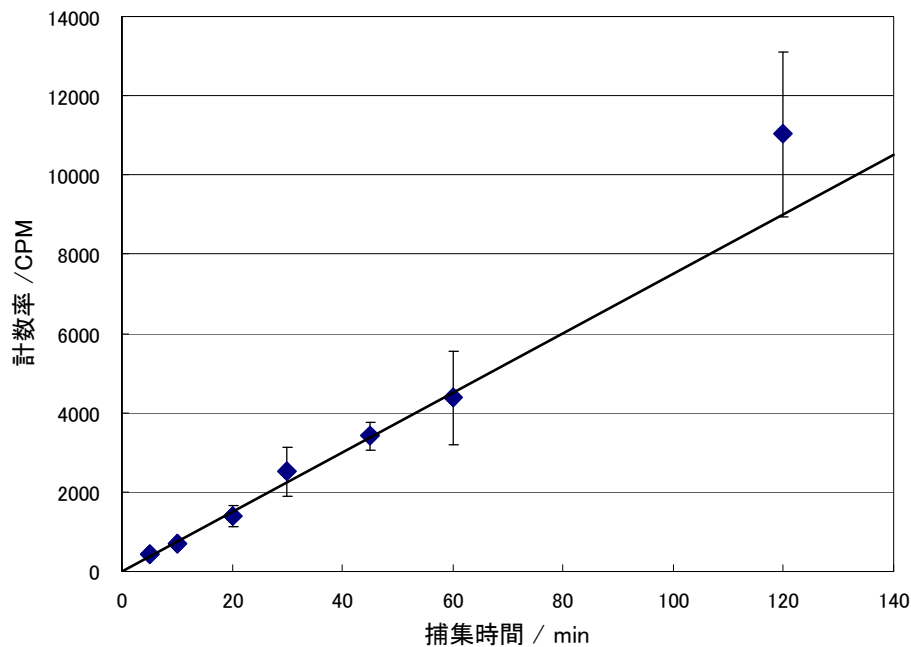
[出典] 国立天文台(編):理科年表 2010年版、丸善(2009年10月)、p.468-469



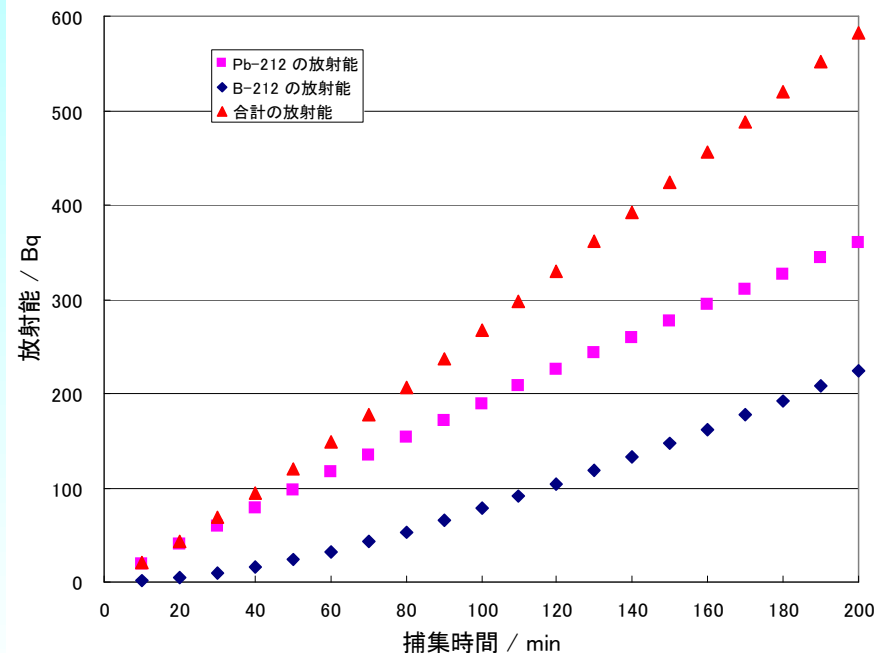
左上:トリウム系列の崩壊系列図。Rn-220 は半減期 55.6 s であり、すぐに崩壊して Pb-212(半減期 10.64 h)と Bi-212(半減期 1.01 h) が主な娘核種としてチャンバー内を浮遊していると考えられる。

右上: モノタロウ不織布1枚でファン下面で 30分捕集を行った後の計測値の経時変化。200分程度まで明確に計数値の増加が見られる。Pb-212 → Bi-212 への崩壊による物と考えられ、フィルターに直接捕集されたのが全量 Pb-212 とすると綺麗にフィッティングすることが出来た(Bi-212 が捕集されたとすると説明がつかなかった)。

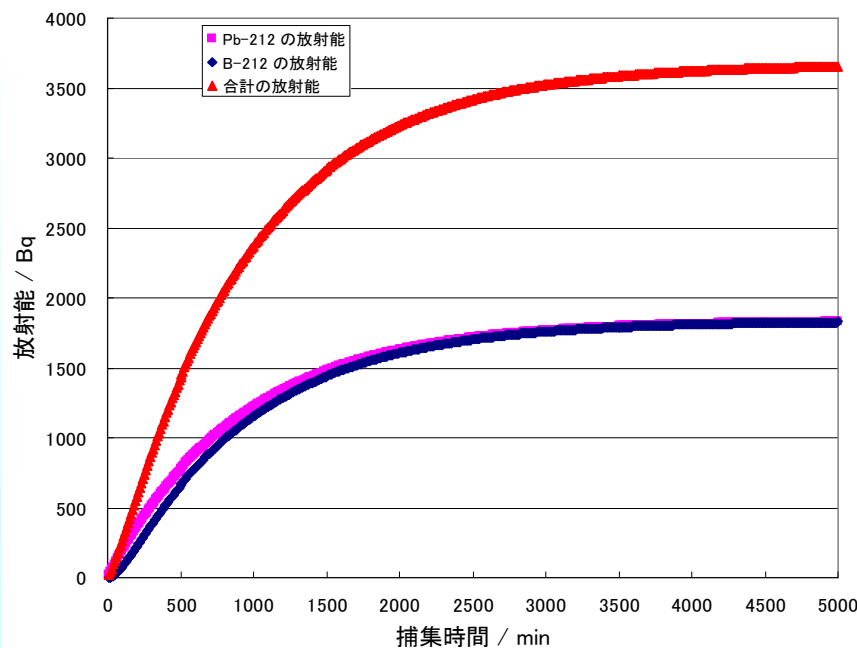
左下: ベンコット2枚重ねをファン上面に設置し、16時間捕集を続けた後の計測値の経時変化。明確な計数値の上昇は見られないが、やはり 200分程度までそれ以降の減衰挙動とは異なる傾きを示している。200分以降のフィッティングでは、半減期は 10.9時間と求まり、ほぼ Pb-212 の半減期と等しくなった。



マンテルピース 250枚、ベンコット1枚での捕集実測値



60 min までの捕集効率を元にして崩壊挙動を考慮した収量推移(初期)



60 min までの捕集効率を元にして崩壊挙動を考慮した収量推移(3.5日まで)

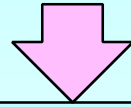
放射性物質の捕集は時間をかければ良いという物ではなく、一定量が捕集されると放射壊変による減少量(元になる量が多いほど単位時間の減少量は大きくなる)と捕集量が釣り合い飽和値に達する。このため、どの程度の時間捕集を行うと飽和量に達するのかの予測を行った。

左上: マンテルピース 250枚、ベンコット一枚上面設置での捕集量の捕集時間依存性。60分までは概ね直線的に増加するが、120分でその傾向から外れて収量が増えているように測定されている。

右上: この見た目の収量の増加は Pb-212 → Bi-212 への崩壊による物と考えられ、フィルターに直接捕集されたのが全量 Pb-212 として娘の Bi-212 が徐々に生成されるとすると実測値を良く再現することが出来た。(CPM → Bq は測定効率 100%として  $2\pi$  での測定のため、2倍して60で割ると求まる)

左下: 長時間捕集した場合の放射能の推移。およそ 3000 min, 2日程度で飽和値に達することが分かる。飽和した状態では Pb-212 / Bi-212 は放射能が等しい平衡状態に達している。

マントルピースを 50枚入れたコンテナ中で 44 h 程度連続捕集(ベンコット2枚重ね、上面設置)を行い、 $29,446 \pm 1,295$  CPM のフィルターを得た。



このフィルターから Pb-212/Bi-212 の抽出を試みた。

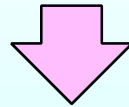
クエン酸 2 g を 60 ml の熱湯で溶かし、上記のベンコット試料を浸して超音波洗浄 5 分で抽出を実施した。ベンコット試料を取り出した後に  $\Phi 90$  mm ディスポシャーレに移して、シャーレの上から Inspector で測定。

→  $1,754 \pm 51$  CPM という測定値を得た。

検出器は  $\Phi 45$  mm で面積  $1/4$ 、 $2\pi$  測定なので検出効率  $1/8$  とすると、

$234 \pm 7$  Bq/ml 程度ということになる。

マントルピースを 250枚に増量、飽和収量に十分達する 1週間程度連続捕集(ベンコット1枚、上面設置)を行い、 $76,000 \pm 9,900$  CPM 程度のフィルターを得た。



$4,350 \pm 39.3$  CPM 程度 →  $580 \pm 5.24$  Bq 程度

発生源のマントルピースを 5倍に増やした割に回収量が増えていない。コンテナ底面にマントルピースが堆積しており十分に攪拌されず Rn-220 ガスが回収系に移行していない可能性がある。攪拌を行うか、コンテナ上部にマントルピースを保持する(ラドンガスは空気より重い)などの改良が必要。